



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Karjalan superryhmään liittyvä malmipotentiali Kainuussa

Wäinö Wacklin

Geotieteiden tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Karjalan superryhmään liittyvä malmipotentialiaali Kainuussa

Wäinö Wacklin

Oulun yliopisto, Geotieteiden tutkinto-ohjelma

Kandidaatin työ 2021, 24 s.

Työn ohjaaja: Kari Strand

Kainuussa Karjalan superryhmään liittyvä malmipotentialiaali keskittyy Kainuun liuskevyöhykkeelle. Työn tavoitteena on tarkastella Kainuun liuskevyöhykkeeseen liittyvää malmipotentialiaalia alueen geologisen kehityksen pohjalta.

Karjalan superryhmän kehitys kesti lähes 600 miljoonaa vuotta tuottaen aina Pohjois-Savosta Lappiin saakka ulottuvan pintakivisyntyisten vyöhykkeiden muodostaman kokonaisuuden, jonka kerrostumispohjana oli arkeinen pohjakompleksi. Vyöhykkeiden ja siten koko superryhmän synty on kuvattavissa kehitysvaiheista kertovilla kronostratigrafisen merkityksen omaavilla kerrossarjoilla: Sumi, Sariola, Kainuu, Jatuli ja Kaleva. Näiden kerrossarjojen tuottamat muodostumat ovat monipuolisesti tavattavissa Kainuun liuskevyöhykkeellä. Vyöhyke on jaettavissa itäisiin- ja läntisiin muodostumiin sekä keskiosiin, joista jokaiseen liittyy malmipotentialiaalia.

Kainuun liuskevyöhykkeellä sijaitsee muun muassa Talvivaaran esiintymä, joka on yksi Suomen merkittävimmistä metallimalmiesiintymistä. Sen kuulussa mustaliuskemalmeihin, on suuri huomio Kainuun liuskevyöhykkeellä keskittynyt vastaavantyyppisten esiintymien löytymiselle. Nämä esiintymätyypit herättävätkin edelleen kiinnostusta ja tarjoavat tutkimisen aihetta malmipotentialin näkökulmasta. Uudenlaista potentialiaalia on kuitenkin viime aikoina keskittynyt Kainuun liuskevyöhykkeen malmivaroiltaan vähemmän tunnettuihin osiin, kun esille on noussut muun muassa vahvasti akkuminaaleihin liittyvät kobolttivarat.

Runsaasta malmipotentialista ja useista tunnetuista malmiesiintymistä huolimatta taloudellisesti hyödynnettäviä malmiesiintymiä on Kainuun liuskevyöhykkeellä tällä hetkellä vain yksi. Rajoitteita malmien hyödyntämiselle ovat luoneet tunnettujen esiintymien pienet kokoluokat sekä potentialisia alueita koskeva vähäinen tutkimustieto. Metallisten mineraalivarantojen todellisen laajuuden selvittäminen näyttäisi vaativan tulevaisuudessa yhä enemmän tutkimusta liuskevyöhykkeen malmipotentialisista alueista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	3
2. Karjalan superryhmä	5
2.1 Luokittelu ja synty.....	6
2.1.1 Sumi.....	7
2.1.2 Sariola	7
2.1.3 Kainuu.....	8
2.1.4 Jatuli.....	8
2.1.5 Kaleva	9
2.1.6 Orogenia	10
3. Kainuun liuskevyöhyke.....	11
3.1 Itäiset muodostumat	12
3.2 Keskiosat	13
3.3 Läntiset muodostumat	13
4. Malmipotentiali	15
4.1 Kainuun Co-Au -potentiali	15
4.2 Kainuun liuskevyöhykkeen pohjoisosat.....	17
4.3 Outokumpu-assosiaatioon liittyvä malmipotentiali.....	19
4.4 Rautamuodostumat.....	20
4.5 Talvivaara-tyypin malmipotentiali	22
5. Yhteenveto	24
LÄHDELUETTELO	25

1. JOHDANTO

Kun arkeinen manner oli asettunut noin 2.6-2.5 miljardia vuotta sitten, Fennoskandian kilpeä alkoivat muokata mantereisten repeämävyöhykkeiden synnyttämät ilmiöt. Tuolloin sai alkunsa noin 600 miljoonaa vuotta kestänyt ajanjakso, jonka aikana manner repesi useaan otteeseen tarjoten olosuhteet sedimentaatiolle ja vulkaanisen toiminnan kerrostumiselle (Hanski, 2015). Epäjatkuvan kerrostumisen tuloksena muodostuivat ajanjakson tektonisia vaiheita kuvaavat kronostratigrafisen merkityksen omaavat kerrossarjat; Sumi-Sariola, Kainuu-Jatuli sekä Kaleva (Strand & Köykkä, 2012). Kerrossarjoista muodostui arkeisen pohjan päälle kerrostunut pintakivipeite, joka nykyisin tunnetaan Karjalan superryhmänä tai karjalaisina muodostumina (Laajoki, 2005). Kehityksen katsotaan loppuneen svekofenniseen vuorijonon poimutukseen noin 1,9 miljardia vuotta sitten, jolloin kerrostuneet pintakivet kohosivat vuorijonoksi. Eroosion kuluttama vuorijono kului kuitenkin ajan saatossa pois. Siksi nykyisin tavattavien kivien voidaankin tulkita edustavan enää vuorijonon syvälle kulunutta osaa. Nykyisin Karjalan superryhmän kivet ovat parhaiten esillä Kainuussa monipuolisuutensa ansiosta muodostaen siellä kokonaisuuden, josta käytetään nimitystä Kainuun liuskevyöhyke (Laajoki, 1998).

Malmipotentialilla tarkoitetaan, että kyseinen alue on tavallista suuremmalla todennäköisyydellä suotuisa jonkin tietyn malmityypin tai -tyyppien esiintymiselle. Malmipotentialisuuden arviointi perustuu alueen geologiseen kehitykseen ja käsitykseen siitä, minkä tyyppisiä malmeja alueella esiintyviin kiviin voisi liittyä tai tiedetään liittyvän (GTK, 2020). Karjalan superryhmän kivet ovatkin myös taloudellisesti tärkeitä. Niihin liittyy merkittäviä malmiesiintymiä, kuten Kainuun liuskevyöhykkeellä sijaitseva Talvivaaran monimetalliesiintymä (Kontinen & Hanski, 2015). Kainuun liuskevyöhykkeen malmipotentialiin liittyy kuitenkin myös muun muassa vähäisestä tutkimustiedosta johtuvaa epävarmuutta, etenkin jakson itäisissä (Rasilainen et al., 2020) ja pohjoisissa osissa (Tiainen et al., 2019). Kainuun liuskevyöhyke muodostaa yhdessä Suomussalmi-Kuhmo-Tipasjärvi vihreäkivivyöhykkeen kanssa malminetsinnällisesti mielenkiintoisen kokonaisuuden, johon Kainuun malmipotentiali kokonaisuudessaan keskittyy (Kainuun liitto, 2019).

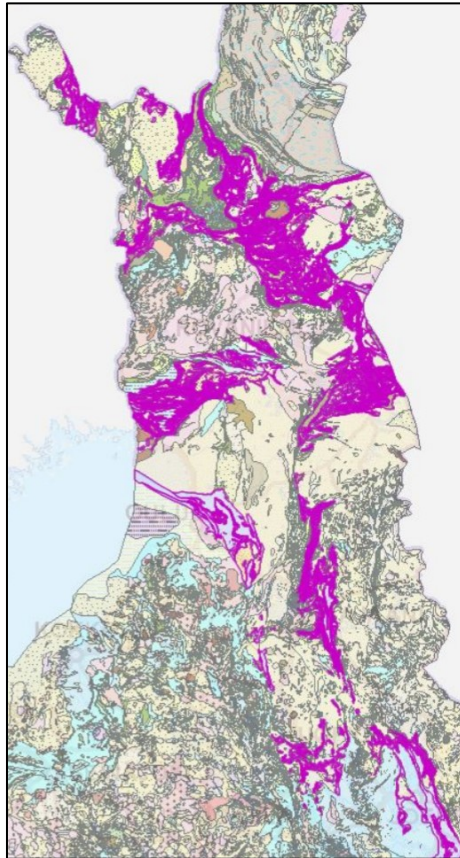
Kainuu on kaivannaisalan maakunta, jossa alan toiminta vaikuttaa suuresti alueen työllisyyteen ja hyvinvointiin. Tästä kertoo esimerkiksi kaivannaisteollisuuden tuottama lähes 20 %:n suuruinen osuus koko maakunnan bruttokansantuotteesta. Tällä hetkellä Kainuun liuskevyöhykkeellä toimii kolme eri kaivosyrittäjää; Terrafame Oy, Mondo Minerals B.V sekä Juuan Dolomiitti-Kalkki Oy. Lisäksi maakunnassa on neljä toiminnassa olevaa kivilouhosta, joista kaksi sijaitsee Kainuun liuskevyöhykkeellä. (Kainuun liitto, 2019) Kainuun liiton laatiman kaivannaisstrategian (2019) mukaan Kainuun kaivannaisvarantopotentiaalia olisi kuitenkin selvitettävä entistä tarkemmin, jotta malminetsintää harjoittavien yhtiöiden aktiivinen toiminta saataisiin alkamaan Kainuussa. Kainuun liiton kaivannaisstrategiaa varten suoritetuissa haasteluissa turvallisuus- ja kemikaaliviraston johtavissa asiantuntijatehtävissä toimiva Ossi Leinonen on myös todennut Kainuussa olevan liian vähän vakavasti otettavaa malminetsintätoimintaa. Yksi strategian tavoitteista onkin saada Kainuuseen vuoteen 2025 mennessä 20 toimivaa malminetsintä projektia, ja kokonaisvaltaisena visiona on luoda Kainuuseen maailman kestävin kaivosklusteri.

Tässä työssä tavoitteena on käsitellä tarkemmin Kainuun liuskevyöhykkeeseen keskittyvää malmipotentialia uusimpien tutkimusta valossa sekä merkittävimmän tunnetun potentiaalin osalta. Aiheen kokonaisvaltaisen ymmärtämisen vuoksi tätä ei kuitenkaan voida tehdä ilman alueen synnyn ja geologisten yleispiirteiden tarkastelua, joten työn alkuosa keskittyy kuvaamaan Karjalan superryhmän ja Kainuun liuskevyöhykkeen geologiaa.

2. KARJALAN SUPERRYHMÄ

Karjalan superryhmä on laaja litostratigrafinen yksikkö Suomen kallioperässä (Kuva 1). Kokonaisuudessaan se käsittää noin 2.45-1.9 miljardia vuotta vanhat paleoproterotsooiset pintasyntyiset sedimenttiset ja vulkaaniset kivet, jotka ovat kerrostuneet arkeaisen pohjan päälle (Ojakangas et al., 2001). Litostratigrafisella yksiköllä tarkoitetaan kivistä koostuvaa kerrostumaa tai kerrostumaryhmää, joka on eroteltavissa ja määriteltävissä litologisten eli fysikaalisten ominaisuuksiensa perusteella. Termillä superryhmä puolestaan kuvataan laajinta mahdollista litostratigrafista yksikköä, jota stratigrafisessa-, eli kivien kerrosjärjestystä ja olosuhteita tarkastelevassa tutkimuksessa käytetään (Strand et al., 2010).

Superryhmä voidaan määritellä koostuvaksi vähintään kahdesta eri litostratigrafisesta ryhmästä, joilla on ”luonnollinen vertikaalinen tai horisontaalinen suhde toisiinsa” (Strand et al., 2010). Toisin sanoen termiä käytetään siis kuvaamaan kokonaisuutta, joka koostuu toisiinsa liittyvistä litostratigrafisista ryhmistä. Termin käyttö ei kuitenkaan ole aivan yleistä ja sitä tulisikin käyttää vain, kun nimeäminen palvelee jotain selkeää tarkoitusta (Strand et al., 2010). Karjalan superryhmän ja Svekofennisen superryhmän kohdalla termi on löytänyt pääasiallisen käyttötarkoituksensa. Huomion arvoista termin käyttöön liittyen on se, että Karjalan superryhmän tapauksessa samasta geologisesta yksiköstä käytetään epämuodollista ja yleisempää nimitystä ”karjalaiset muodostumat” (Strand et al., 2010). Myös Karelia-superryhmä on toinen yleinen termi, jolla kuvataan edellisen tapaan samaa geologista kokonaisuutta.



Kuva 1. Karjalan superryhmän sijainti ja jakautuminen Suomen kallioperässä (kuvalähde: GTK, karttapalvelut – Suomen kallioperä, geologisen yksikön raportti).

2.1 Luokittelu ja synty

Karjalan superryhmä jakautuu laajalle alueelle useisiin erillisiin vyöhykkeisiin, jotka esiintyvät arkeisten blokkien sisällä, ympärillä sekä näiden väleissä (Laajoki, 2005). Tästä kokonaisuudesta on erotettavissa kahdeksan suurempaa alueellista vyöhykettä Laajoen (2005) mukaan seuraavasti: 1) Kainuun liuskevyöhyke, 2) Pohjois-Karjalan liuskealue, 3) Outokummun nappe-kompleksi, 4) Kuopion vyöhyke, 5) Salahmin vyöhyke, 6) Kiimingin liuskejakso, 7) Kuusamon liuskealue ja 8) Peräpohjan liuskealue. Tämän lisäksi Karjalan superryhmään luetaan kuuluvaksi laajalti Keski-Lapin alueella esiintyvät paleoproterotsooiset suprakrustiset kivet (Luukas et al., 2017).

Karjalan superryhmän kehitystä kuvatessa voidaan käyttää termiä tektofasies, joka pitää sisällään kerrostumisaltaan kaikki muodostumat, jotka ovat syntyneet sen kerrostumishistorian tietyn tektonisen vaiheen aikana. Laajoen (2005) kuvaamassa luokittelussa niitä on perinteisesti ollut viisi erilaista seuraavasti: 1) Sumi, 2) Sariola, 3)

Kainuu, 4) Jatuli ja 5) Kaleva. Nämä vanhat ja epämuodolliset termit ovat esiintyneet pitkään suomenkielisessä alan kirjallisuudessa. Niiden käyttö on silti ollut epäjohdonmukaista ja osoittautunut ongelmalliseksi esimerkiksi tarkan stratigrafisen korreloinnin kannalta (Hanski, 2001). Nykyisin näitä termejä käytetään lähinnä kuvaamaan historiallista kontekstia kronostratigrafisessa eli kerrostumisjärjestysten ajallista tutkimusta tarkastelevassa mielessä (Luukas et al., 2017).

Työn seuraavassa osassa kuvataan Karjalan superryhmän synty ja kehitys perustuen vahvasti Laajoen (1998, 2005) kirjoittamiin yhteenvetoihin aiheesta. Nämä kuvaukset painottavat kivilajiseurueiden alkuperää, jolloin kivilajinimistössä ei ole otettu huomioon nykyisin kivissä läsnä olevaa metamorfoosin vaikutusta.

2.1.1 Sumi

Sumin tektofasies koostuu happamista ja intermediäärisistä vulkaanisista kivistä sekä vähäisistä sedimenttikivistä, jotka yhdessä muodostavat Karjalan superryhmän vanhimman tektofasieksen (Laajoki, 2005). Sumin synty voidaan ajoittaa 2.44-2.35 miljardin vuoden välille, jossa se liittyy noin 2.5 miljardia vuotta sitten alkaneeseen arkeeseen mantereen repeämisen alkuvaiheeseen. Täten Sumin kivilajiseurue edustaa Karjalan superryhmän kehityksen ensimmäistä allasvaihetta, jossa arkeinen manner alkoi revetä luoteis-kaakko-suuntaisiin repeämälaitisiin, ja joihin Sumin kivien oli mahdollista purkautua ja kerrostua. Kerrostumista seurasi fysikaalinen rapautuminen ja eroosio, jonka seurauksena suuri osa Sumin pintakivistä kului kokonaan pois (Laajoki, 1998). Suomessa Sumin kivistä onkin jäljellä vain paikoin löydettävissä olevia jäänteitä. Vastaavasti tämän tektofasieksen esiintyminen on huomattavasti runsaampaa Venäjän Karjalassa ja Kuolan niemimaalla, jossa se liittyy läheisesti 2.44 miljardin vuoden ikäisiin mafisiin intruusioihin (Laajoki, 2005).

2.1.2 Sariola

Sariolan tektofasies edustaa Karjalan superryhmän kehityksen toista allasvaihetta. Tässä vaiheessa repeämälaitat jatkoivat repeämistään ja Sumin kivien päälle kerrostui jokitoiminnan kasaamat Sariolan kivet, jotka koostuvat pääasiassa edellä kuvatun rapautumisvaiheen synnyttämistä epäkypsistä konglomeraateista ja arkoosihiekkakivistä. Tektofasiekseen liittyy myös paikallisia andesiittisiä laavoja, jotka kertovat vaiheen

vulkaanisesta toiminnasta. Edellisten lisäksi Sariolan tektofasieksista on tavattu glasiogeenisiä kiviä, joiden kerrostumisen on katsottu tapahtuneen repeämäaltaissa merenpinnan alapuolelle. Nämä kivet ovat säilyneet todisteina Sariolan laaja-alaisesta jäätiköitymisvaiheesta (Laajoki, 1998). Sariolan kivien tyyppialue löytyy myös Venäjän Karjalasta, mutta tärkeimmät esiintymät Suomesta löytyvät Pohjois-Karjalasta ja Kainuun liuskevyöhykkeeltä (Laajoki 2005). Myös Sariolan liittyessä arkeisen mantereen repeämisvaiheeseen, näitä kahta kivilajiseuruetta on paikoin vaikea erottaa toisistaan, jolloin puhutaan Sumi-Sariolasta (Rundqvist & Mitrofanov 1992; Laajoki, 1998).

Sariolan glasiaalisten sedimenttien kerrostumista seurasi voimakas kemiallisen rapautumisen kausi, jolloin Karjalan superryhmän alueiden on katsottu sijaitsevan trooppisilla – subtrooppisilla ilmastovyöhykkeillä (Laajoki, 2005). Tämän kemiallisen rapautumisen kauden voidaan katsoa erottavan Sumi-Sariolan seuraavaksi kuvattavasta Kainuu-Jatuli sarjasta. Kaikkiaan Sumi-Sariolan kerrossarjan kehitys voidaan sijoittaa aikavälille 2,5-2,3 miljardia vuotta (Strand & Köykkä, 2012).

2.1.3 Kainuu

Kainuun sarja koostuu kivistä, jotka syntyivät rapautumisjaksoa seuranneen sedimentaation toimesta. Kainuun tektofasies voidaankin erottaa Sariolan kivistä epäjatkuvuuspinnan kautta, joka koostuu juuri rapautumisen tuottamista paleomaalajeista (Laajoki, 2005). Kainuun sarjan kivien syntyä voidaan kuvata Karjalan superryhmän kolmannella allasvaiheella. Tässä vaiheessa, kuoren edelleen repeytyessä, alkoi merenpinta kohota kohti mannerta peittäen alleen aiemmin syntyneitä repeämäaltaita. Meren valtaamat repeämäaltaat mahdollistivat näin jokitoiminnan sedimentaation, jonka seurauksena syntyi kehitysvaihetta luonnehtivat joenuoma- ja jokisuistosedimentit. Kainuun sarjan kerrostumisen katsotaan loppuneen noin 2,2 miljardia vuotta sitten (Laajoki, 1998).

2.1.4 Jatuli

Jatulin tektofasies edustaa superryhmän kehityksen neljättä allasvaihetta käsittäen laajat joki- ja matalanmeren toiminnan kasaamat sedimenttikerrostumat. Jatuliset muodostumat syntyivät uuden sedimenttikierron tuloksena, kun edellä kuvatut sedimentit joutuivat

voimakkaan kulutuksen kohteeksi. Jatulin kehitys on jaettavissa kerrostumisympäristöjen kannalta niin, että alkuvaiheessa kerrostuminen tapahtui jokisedimenttien muodossa synnyttäen Jatulia luonnehtivat kvartsihiekkakerrostumat ja loppuvaiheessa, matalan meren ympäristön synnyttä, merellisinä muodostumina sisältäen muun muassa karbonaattien kerrostumisen. Myös tässä vaiheessa mantereinen kuori jatkoi edelleen repeämistään, mikä on nähtävissä muun muassa Jatulin sisäisistä vulkaanisista kivistä (Laajoki, 1998; Laajoki, 2005). Jatulin ja Kalevan kehitysvaiheen rajaksi on voitu määrittää 1970 miljoonaa vuotta. (Laajoki, 1998) Kokonaisuudessaan Kainuu-Jatulin kerrostumissarjan kehitysvaiheen voidaan katsoa edustavan repeämäaltaiden vallannutta kapean meren vaihetta (Strand & Köykkä, 2012).

2.1.5 Kaleva

Kalevan kivilajiseurue edustaa kehityskaaren viidettä ja samalla viimeistä allasvaihetta. Sitä luonnehtii sedimentaation siirtyminen matalan meren olosuhteista syvän meren olosuhteisiin, sekä uuden merenpohjan syntyminen. Yleisesti Kalevan kivilajiseurueeseen katsotaan kuuluvan kaikki Jatulin sekä arkeisen pohjan päälle savista ja savisista hiekoista muodostuneet peliittiset ja psammiittiset kivet. Kaleva on kuitenkin jaettavissa kahteen osaan; Ylä- ja Ala-Kalevaan (Laajoki, 1998). Näiden kahden välillä ei ole havaittu selkeää epäjatkuvuuspintaa, vaan jako perustuu lito- ja geokemialliseen korrelointiin sekä Jormuan ofioliitista tehtyihin iänmäärytyksiin (Laajoki, 2005).

Ala-Kaleva on Kalevan tektofasieksen autoktoninen osa eli esiintymispaikalleen, Jatulin kvartsiittien päälle, kerrostunut kokonaisuus. Näiden kahden välinen konglomeraattinen epäjatkuvuuspinta on aikanaan kuvattu jo vuonna 1933 H. Väyrysen tutkimuksissa (Laajoki, 2005). Yleisesti Ala-Kalevan tektofasiesta voidaan kuvata hyvin heterogeeniseksi, joka sisältää konglomeraatteja ja breksiakonglomeraatteja, massiivisia turbidiittisia hiekka- ja peliittikiviä, kvartsiraitaisia rautamuodostumia sekä taloudellisesti tärkeitä sulfidipitoisia mustaliuskeita (Laajoki, 1998). Tektofasieksen synnyn on katsottu liittyvän Karjalaisen kuoren lohkoutumiseen ja aiemmasta repeämätoiminnasta erotettaviin itsenäisten altaiden syntyyn (Laajoki, 2005), jossa konglomeraatit edustavat merenalaisia kivivyöryjä, massiiviset hiekat turbidiittivirtauksia ja rautamuodostumat merenalaiseen vulkanismiin liittyviä kemiallisia sedimenttejä (Laajoki, 1998). Ala-Kalevan kerrostumisikä ei ole täysin

selvillä, joskin Ylä-Kalevasta saatujen iänmääritysten avulla Ala-Kalevan kehitysvaiheen iäksi usein rajataan 1.97-1.92 miljardia vuotta (Laajoki, 2005).

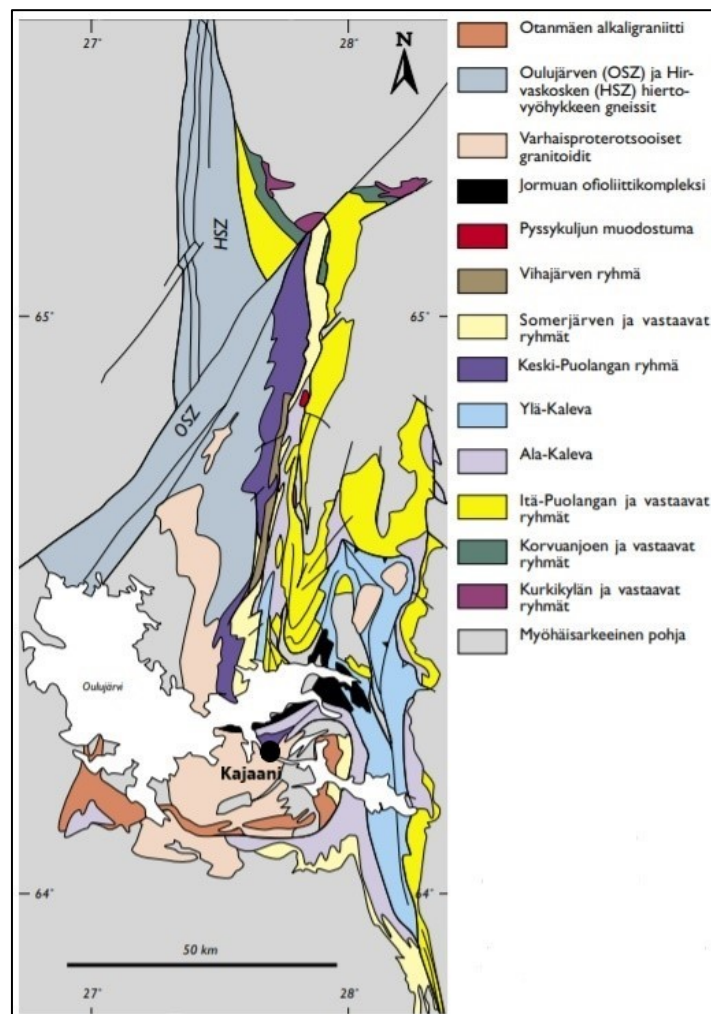
Ylä-Kalevan kivilajiseurue on puolestaan homogeeninen, jonka kerrostamista ohjasivat syvään veteen tapahtuneen turbidiittivirtaukset tuottaen pääasiassa paksukerrallisia tai massiivisia metahiekkakiviä sekä ohutkerrallisista kiilleliuskeita (Laajoki, 1998). Ylä-Kalevan kivien tulkitaan olevan alloktionisia eli tektonisten liikuntojen kautta nykyiselle paikalleen siirtyneitä, jolloin niiden tarkka kerrostumisalusta sekä suhde Ala-Kalevan kiviin on epäselvä (Laajoki, 2005). Yksi tulkintamalli on se, että ainakin osaksi kerrostuminen on tapahtunut Jormuan ja Outokummun merellisen kuoren päälle, jolloin yhdessä Ylä-Kalevaa leikkaavien syväkivien kanssa kivilajiseurueelle iäksi voidaan arvioida 1.92-1.87 miljardia vuotta (Laajoki, 1998).

2.1.6 Orogenia

Viimeinen merkittävä vaihe Karjalan superryhmän kehityksessä on Svekofenninen orogenia (Laajoki, 1998), joka sijoittuu 1.92-1.79 miljardin vuoden välille (Lahtinen et al., 2005). Tässä tapahtumassa muodostumat poimuttuivat menettäen paikoin alkuperäiset rakenteensa samalla kun yhtenäiset vyöhykkeet hajosivat pienempiin osiin. Karjalan superryhmän kivilajeja tarkasteltaessa onkin muistettava, että nykyisin tavattavat kivet ovat osaltaan voimakkaasti deformatuneita, deformaatioasteen kasvaessa yleisesti idästä länteen. Lisäksi orogenian aiheuttama tektoninen kehitys on jaettavissa plastisen- ja hauraan deformaation vaiheisiin, joista ensimmäinen käsittää pintakivien poimuttumisen ja ylityöntymisen johtuen lopulta muodostumien poimuttumisen vertikaalimpaan asentoon. Jälkimmäinen puolestaan kattaa laajojen, alueen tektoniseen kuvaan vaikuttaneiden, hirtovyöhykkeiden synnyn (Laajoki, 1998).

3. KAINUUN LIUSKEVYÖHYKE

Kainuun liuskevyöhyke on Kainuun läpi kulkeva pohjois-etelä suuntainen Rautavaaralta Pudasjärvelle kulkeva, noin 200 km pitkä ja paikoitellen 40 km leveä, metasedimenteistä ja -vulkaniiteista koostuva jakso (Laajoki, 1998). Aiemmin kuvattujen kehitysvaiheiden lisäksi liuskevyöhykkeelle on ominaista Svekofennisen orogeenin synnyttämät useat tektoniset yksiköt (Laajoki, 1998) sekä kivien puristuminen lähes vertikaaliin asentoon arkeisten blokkien väliin (Laajoki, 1991). Kainuun liuskevyöhyke on jaettavissa kolmeen eri osaan stratigrafian ja tektoniikan perusteella seuraavasti: 1) Itäiset muodostumat 2) keskiosa ja 3) läntiset muodostumat (Kuva 2). Näistä itäisten muodostumien katsotaan olevan autoktonisia tai vain hyvin vähän kerrostumisalustaltaan liikkuneita, kun taas läntiset muodostumat on tulkittu enemmän alloktonisiksi (Laajoki, 1998).



Kuva 2. Kainuun liuskevyöhykkeen geologia. Kuva muokattu Laajoki (1998) kuvasta.

3.1 Itäiset muodostumat

Itäisiin muodostumiin luetaan kuuluvaksi Kurkikylän, Korvuanjoen sekä Itä-Puolangan ryhmät (Laajoki, 1998).

Kurkikylän ryhmä ja sitä vastaavat ryhmät sijoittuvat Kainuun liuskevyöhykkeen koilliskulmaan edustaen sen ensimmäistä sedimentaationsarjaa. Ne koostuvat Sumi-tyyppisistä metalaavoista ja Sariola-tyypin metasedimenteistä (Strand, 1988). Kurkikylän ryhmän sedimenttisarjaa luonnehtii arkeisesta pohjasta peräisin olevan karkeaklastisen osan päällä lepäävät arkoosiset konglomeraatit, hiekat ja savet sekä arkeisen pohjan päälle purkautuneet basalttiset metalaavat, joiden eroosiotuotteet kerrostuivat yhdessä pohjan klastien kanssa vulkaanisina sorina (Laajoki, 1988). Kerrostumisen on katsottu liittyneen mantereen sisäiseen repeämistapahtumaan, jonka synnyttämä graben-rakenne toimi edellä kuvatun aineksen kerrostumisalustana (Strand, 1988).

Kurkikylän ryhmän päälle epäjatkovana kerrostunut Korvuanjoen ryhmä edustaa Kainuun tektofasiesta ja onkin kehitysvaiheen tyyppiryhmä (Laajoki, 2005). Ryhmän kivet ovat pääasiassa jokitoiminnan kasaamia ja koostuvat kvartsimukulaisesta konglomeraatista sekä ortokvartsiitista, joista jälkimmäinen muodostaa suurimman osan ryhmän kiviaineksesta. Kiviaines on Kurkikylän ryhmää kypsempää, joka viittaa aineksen olevan peräisin kemiallisesta rapautumisesta (Laajoki, 1998).

Korvuanjoen ryhmän päälle kerrostui epäjatkovana Itä-Puolangan ryhmä, joka kuuluu Jatulin tektofasieseen. Ryhmän kiviaines on pääasiassa kypsää kvartsiittia, joskin sen sisällä on nähtävissä kehitys jokisedimenteistä merellisiin sedimentteihin sekä meren pinnan vaihteluita kuvaavia kerrostumissarjoja. Itä-Puolangan ryhmä ja sitä vastaavat ryhmät, Hyrynsalmen ryhmä ja Vuokatin ryhmä, muodostavat laajan, aina Paltamosta Sotkamoon ulottuvan, kokonaisuuden, jonka kokonaispaksuus on paikoitellen jopa yli 3000 metriä (Laajoki, 1998).

3.2 Keskiosat

Kainuun liuskevyöhykkeen keskiosat ovat vaikeammin määriteltävissä niiden koostuessa limittäin sijaitsevista tektonisista kiiloista (Laajoki, 1998). Tähän kokonaisuuteen on kuitenkin luettavissa muun muassa Talvivaaran monimetalliesiintymä (Loukola-Ruskeeniemi & Heino, 1996; Laajoki 1998) sekä maailmallakin tunnettu Jormuan ofioliitti (Laajoki, 1998). Jormuan ofioliitti on 1,95 miljardin vuoden ikäinen mafis-ultramafinen alloktooninen kompleksi, joka on ylityöntynyt Karjalaisen kratonin manneralueelle (Peltonen & Kontinen, 2004). Erikoisen siitä tekee se, että se on vanhin kompleksi, jossa on edustettuna kaikki merenpohjan rakenteelliset yksiköt ja niiden väliset kontaktit (Peltonen, 2005).

3.3 Läntiset muodostumat

Liuskevyöhykkeen läntiset muodostumat koostuvat Keski-Puolangan ryhmästä ja tähän läheisessä kontaktissa olevasta hiertovyöhykkeiden paragneisseistä, Vihajärven, Somerjärven ja Väyrylän ryhmästä sekä Pyssykuljun muodostumasta (Laajoki, 1991). Näistä ensimmäinen, Keski-Puolangan ryhmä, on erikoinen siinä mielessä, että sille ei ole Kainuusta löydetty mitään vastaavaa (Laajoki, 1998). Sen kolme pääyksikköä vanhimmasta nuorimpaan ovat Puolankajärven, Akanvaaran ja Pärekan kaan muodostumat (Kontinen et al., 2014). Näistä epäkypsistä areniittisistä ja peliittisistä kivistä koostuvien muodostumien ensimmäisen voidaan katsoa liittyvän Sariolan ja kahden jälkimmäisen Kainuun tektofasiekseen (Laajoki, 2005). Keski-Puolangan ryhmä on myös siinä mielessä erikoinen, ettei sen kerrostumisalustaa eikä ikää tunneta (Laajoki, 1998). Paragneisseistä koostuvan pohjaosan arvellaan kuitenkin todennäköisesti kerrostuneen arkeisen pohjan päälle (Laajoki, 1986). Ryhmän iäksi on puolestaan ehdotettu joko varhaisproterotsooista tai neoarkeista, mutta tarkka ikä puuttuu. Tämä johtuu muun muassa helposti määritettävien syngeneettisten magmakivien puutteesta. Viimeisimmän tiedon perusteella Keski-Puolangan ryhmän iäksi voitiin arvioida aikaväli 2.72-2.45 miljardia vuotta. Tulos kuvaa pientä edistystä mutta lopullinen vastaus puuttuu edelleen. Jos vastaus puoltaisi ryhmän iäksi arkeista, se olisi merkittävää, sillä se muokkaisi käsitystä arkeisen kallioperän ja varhaisproterotsooisten muodostumien synnystä (Kontinen et al., 2014).

Vihajärven ryhmä muodostaa Keski-Puolangan ryhmän päälle ja Somerjärven ryhmän alle kerrostuneen ja myöhemmin niiden väliin poimuttuneen kapean vyöhykkeen (Laajoki, 1991). Se koostuu polymiktisestä jokikonglomeraatista, tämän päällä lepäävästä kvartsiitista, jossa havaitaan asteittainen vaihtuminen peliittisiin kiviin (Laajoki, 1998).

Somerjärven ryhmä on edellä mainitun päälle kerrostunut, kvartsiitista, dolomiitista ja tuffiiteista koostuva yksikkö (Laajoki, 1991) muistuttaen suuresti Itä-osien Jatulisia muodostumia (Laajoki, 1998). Nämä kaksi edellä mainittua ryhmää ovatkin pääsääntöisesti luettu Jatulia kuvaavaan kehitysvaiheeseen, joskin Vihajärven ryhmän kivien ikä on osoittanut mahdollista korreloitavuutta Ylä-Kalevaan (Laajoki, 2005).

Väyrylän ryhmä on Somerjärven ryhmän päälle kerrostunut, heikosti paljastunut ja ainakin alimmilta osiltaan Ala-Kalevan tektofasiukseen kuuluvaksi luettava ryhmä. Se koostuu Sarvipuron ja Salmijoen muodostumista, joista ensimmäiseen kuuluu muun muassa Väyrylänkylän rautaesiintymät. Jälkimmäinen on puolestaan hyvin voimakkaasti muuttunut monotooninen vahvasti kiilleliuskepitoinen yksikkö, jonka sisäistä stratigrafiaa ei ole voitu selvittää (Laajoki, 1991).

Pyssykuljun muodostuma on Puolangalla sijaitseva, Kalevan kivien ympäröimä pieni vaara. Muodostuman alaosa koostuu turbidiittisesta metahiekkakivestä ja kiilleliuskeesta sekä ohuesta konglomeraattiyksiköstä, josta se vaihtuu puhtaaksi ja punertavaksi ortokvartsiittiyksiköksi (Laajoki, 1998). Muodostuma on esimerkki Ylä-Kalevaan liittyvästä molassimaisesta, orogeenian yhteydessä muodostuvista heikosti lajittuneista rapautumistuotteista koostuvasta, esiintymästä (Laajoki, 1991).

4. MALMIPOTENTIAALI

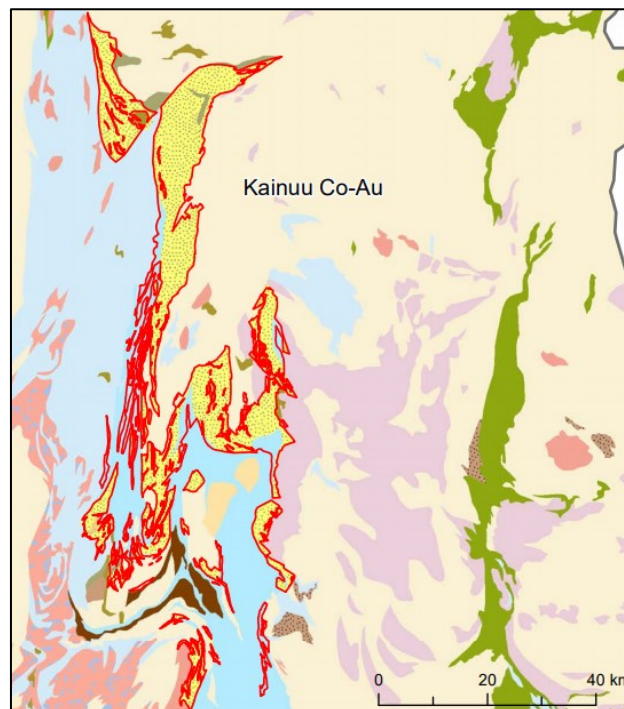
Kainuun liuskevyöhykkeen tunnettu malmipotentiaali keskittyy pääasiassa jakson etelä- ja keskiosiin. Vastaavasti pohjoisosista ei tunneta malmiesiintymiä, vaikka sieltä on tavattu runsaasti erilaisia malmiviitteitä (Tiainen et al., 2019). Metallisista malmeista taloudellinen hyödynnettävyys on toistaiseksi yksinomaan rajoittunut mustaliuskeiden sulfidimalmimineralisaatioihin Talvivaaran esiintymässä (Kontinen & Hanski, 2015). Mustaliuskeisiin liittyvä mielenkiinto ja potentiaali nousevatkin usein esille Kainuun liuskevyöhykettä tarkasteltaessa. Tätä painotetaan myös Kainuun liiton laatimassa kaivannaistrategiassa (2019). Osana uudempia ilmiöitä Kainuun liuskevyöhyke on nyt saanut myös osansa viime aikoina heränneestä akkuminaaleihin koskevasta kiinnostuksesta.

4.1 Kainuun Co-Au -potentiaali

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on arvioinut vastikään julkaistussa tutkimuksessa (Rasilainen et al., 2020) Kuusamo-tyyppin Co-Au -esiintymien löytämättömiä varoja Suomessa. Vaikka tämän hetken ainoat tunnetut esiintymät sijaitsevat Kuusamossa, tulokseksi saatiin edellä mainitun lisäksi seitsemän muuta potentiaalista aluetta Kainuun liuskevyöhykkeen ollessa näistä neljänneksi potentiaalisin, tonni- sekä esiintymälukumäärässä mitattuna. Koko Suomen löytämättömien esiintymien lukumääräksi arvioitiin 58 kappaletta niiden sijainnin keskittyessä pääasiassa Kuusamon, Peräpohjan ja Pelkosenniemen alueille. Tulokset laskettiin korkeintaan 1000 metrin syvyyteen ja niiden laskemiseen käytettiin tilastollisiin menetelmiin perustuvaa kolmivaiheista kvantitatiivista arviointimenettelyä. Kokonaisuudessaan Suomen arvioidut varannot ylsivät 100 000 tonniin kobolttia ja 85 tonniin kultaa, todennäköisyyksien ollessa viisikymmentä prosenttia esiintymän löytymiselle ja tonnimäärille.

Tämänhetkinen kobolttituotanto Kainuun liuskevyöhykkeellä keskittyy Terrafame Oy:n louhimaan Talvivaara-muodostumaan Sotkamossa (Terrafame, 2020a). Kuusamo-tyyppin kobolttipotentiaali Kainuun liuskevyöhykkeessä puolestaan kohdistuu Itä- ja Keski-Puolangan ryhmiin sekä näiden sisältämiin 2.4-1.89 miljardin vuoden ikäisiin juoniin

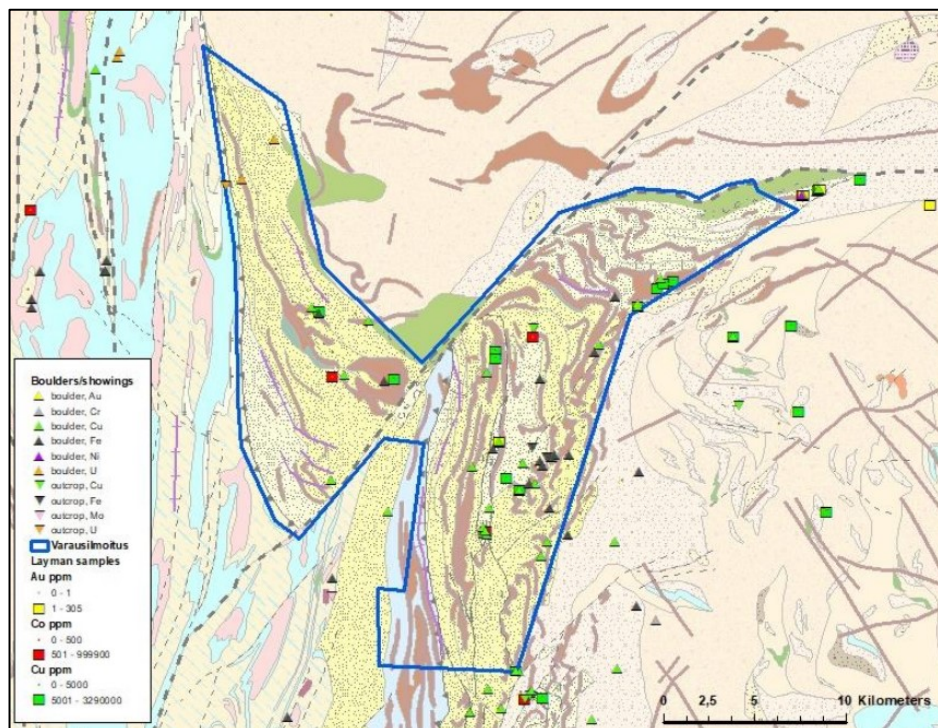
(Kuva 3). Arvioitu potentiaali Kainuussa käsittää kuusi esiintymää, sisältäen 11 000 tonnia kobolttia sekä 8,7 tonnia kultaa. Tähän mennessä alueelta ei ole kuitenkaan tehty havaintoja mineralisaatioista, malminetsinnästä huolimatta. Laaja esiintymisalue, vähäinen tieto sekä aiempien tutkimusten painottuminen teollisuusmineraaleihin jättävät paljon epävarmuutta Kainuun Kuusamo-tyyppisiin kobolttiesiintymiin (Rasilainen et al., 2020). Epävarmuudesta huolimatta potentiaaliin on reagoinut kaivos- ja mineraalitoimintaan erikoistunut australialais-suomalainen-yritys Latitude 66 Cobalt Oy. Yritys on tehnyt Kainuun liuskevyöhykettä koskevan, Pudasjärven, Puolangan ja Suomussalmen kuntien alueille ulottuvan 1266,24 neliökilometrin laajuisen varaushakemuksen jo vuonna 2019 (Latitude 66 Cobalt, 2019). Rasilainen et al., (2020) julkaiseman tutkimuksen käsittelemä kobolttipotentiaali on osoittautunut yhdenmukaiseksi yrityksen näkemysten kanssa (Latitude 66 Cobalt, 2020). Aivan vastikään yritys on ilmoittanut jättäneensä Puolangan ja Pudasjärven alueita koskevat, kokonaisuudessaan 9850 hehtaarin, malminetsintälupahakemukset (Latitude 66 Cobalt, 2021).



Kuva 3. Kainuun liuskevyöhykkeen Kuusamo-tyypin Co-Au - potentiaali (Rasilainen et al., 2020). Kuvassa potentiaaliset alueet on merkitty punaisella rajauksella.

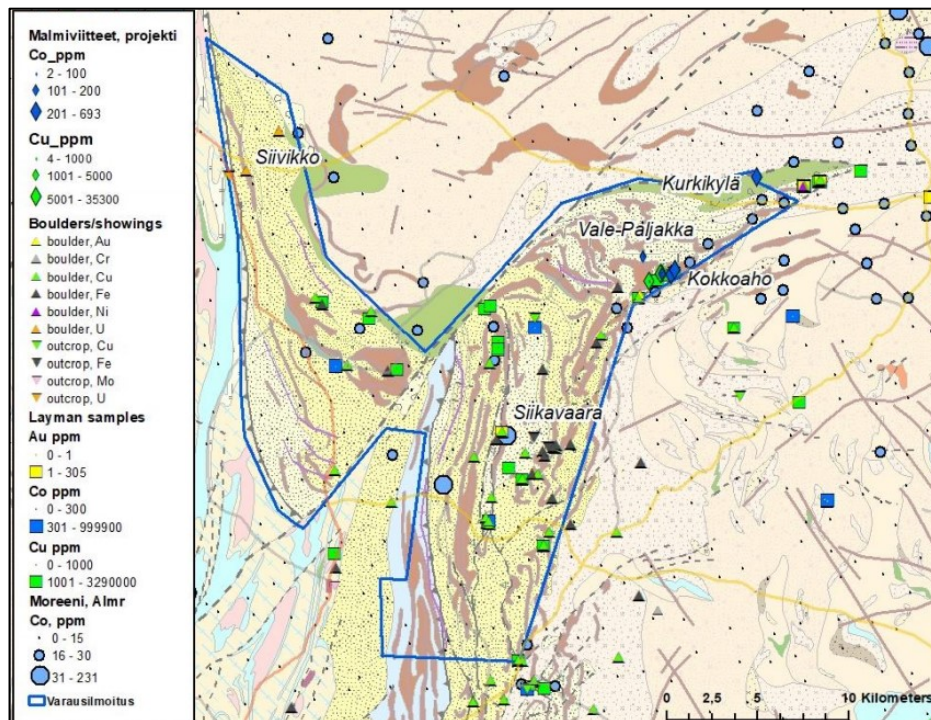
4.2 Kainuun liuskevyöhykkeen pohjoisosat

GTK suoritti vuosina 2017-2018 Kainuun liuskevyöhykkeen pohjoisosissa, Puolangan, Pudasjärven, Suomussalmen ja Taivalkosken kuntien alueella malmipotentialia koskevan tutkimuksen (Tiainen et al., 2019), jonka tavoitteena oli selvittää alueen Au-potentialiaa sekä stratigrafista korrelaatiota paremmin tunnettuihin malmipotentialisiin yksiköihin Kuusamon ja Peräpohjan alueilla (Kuvat 4 ja 5). Tutkimusalue koostui Kurkikylän-, Korvuanjoen- sekä Itä-Puolangan ryhmistä, malmitutkimuksien tarkemmin kohdistuessa alueilla sijaitseviin Hukkavaara-Kokkoahon ja Vale-Paljakan-Nenäkankaan alueisiin sekä Kurkikylän vulkaniitteihin. Menetelminä tutkimuksessa käytettiin lohkaretsintää, paljastumahavaintoja, moreeninäytteenottoa pintanäytteenottona, geofysikaalisia mittauksia ja kairauksia, näytteiden geokemiallinen analyysi mukaan lukien. Kaikkiaan malmitutkimus keskittyi kolmeen pääasialliseen kohteeseen, jotka olivat diabaaseihin liittyvät Au-Cu-kvartsijuonet Hukkavaaran-Kokkoahon alueella, Kurkikylän vulkaniitit sekä serisiittikvartsiitit Nenäkankaan-Vale-Paljakan alueella (Tiainen et al., 2019).



Kuva 4. Kainuun liuskevyöhykkeen pohjoisosien aikaisemmat malmiviitteet GTK:n tietokannan mukaan (Tiainen et al., 2019).

Hukkavaaran-Kokkoahon alueelta diabaaseihin liittyviä kuparilohkareita tutkittiin aiempien malmiviitteiden pohjalta ja niitä löydettiin lisää, kohonneilla Au-Co pitoisuuksilla. Lohkareista saadun tarkennetun malmityyppitiedon sekä moreeninäytteenotosta saatujen tulosten kanssa anomalinen alue voitiin rajata. Kurkikylän tutkimuksissa alueella tavattiin hydrotermistä muuttumista sekä kobolttianomalisia juonia. Yhden magneettikiisujuoneen liittyvän korkean kobolttipitoisen (439 ppm) kairasydämen lisäksi muita huomattavia metallipitoisuuksia ei alueella tavattu. Vale-Päljään-Nenäkankaan alueella ei onnistuttu kairamaan oletettua serisiittikvartsiittia. Kairatuista näytteistä saatiin kuitenkin vähäisiä Au-anomaliaita, joskaan ne eivät osoittautuneet jatkotutkimuskelpoisiksi. Mielenkiintoisimmat havainnot koskivat lohkariviitteitä, joissa havaittiin hydrotermistä muuttumista karbonaattiutumisen, kvartsiutumisen sekä kiisuuntumisen muodoissa. Nämä havainnot viittaavat hydrotermiseen malminmuodostukseen ja tekevät kohteesta malminetsinnällisesti mielenkiintoisen. Myös aiemmin mainittu Kokkoahon kuparilohkareikko anomaloineen todettiin malminetsinnällisesti mielenkiintoiseksi mahdollisia jatkotutkimuksia ajatellen (Tiainen et al., 2019).



Kuva 5. Kainuun liuskevyöhykkeen pohjoisosien aikaisemmat sekä tutkimustuloksena saadut malmiviitteet (Tiainen et al., 2019).

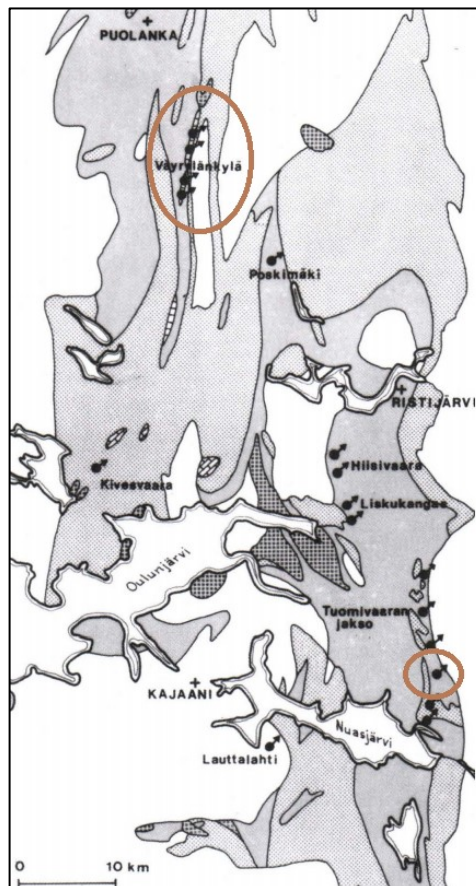
4.3 Outokumpu-assosiaatioon liittyvä malmipotentialiaali

GTK:n laatimassa tutkimuksessa arvioitiin Kainuu-Outokumpu -jaksoon liittyvien ofiolittien Ni-(Cu-Co) -malmipotentialiaalia (Aatos et al., 2018). Tutkimusajankohtana yleisen mielenkiinnon kohdistuessa Outokumpu-tyyppisiin muodostumiin, katsottiin tärkeäksi selvittää uudelleen näihin muodostumiin liittyvää malmipotentialiaalia. Jo vuotta aiemmin julkaistussa tutkimuksessa (Makkonen et al., 2017) arvioitiin, että Outokumpu-tyypin nikkeliesiintymiä ei ole tutkittu systemaattisesti, jolloin niihin liittyvä potentialiaali vaatisi tarkempaa arviointia. GTK:n tutkimuksessa tavoitteena oli rajata malmipotentialialiset alueet perinteisen Outokumpu-jakson -alueen ulkopuolelta. Tällä perinteisellä alueella Pohjois-Karjalassa ja -Savossa ofiolitteihin ja Outokumpu-assosiaation serpentiniitteihin liittyviä monimetallimalmeja on hyödynnetty jo pitkään (Aatos et al., 2018).

Tutkimus keskittyi Pohjois-Karjalan/Pohjois-Savon ja Kainuun alueille, josta Kainuun liuskevyöhykkeeltä löytyviä Outokumpu-tyyppisiä muodostumia sisältäviä kallioperäyksiköitä olivat Vihajärven, Väyrylän ja Nuasjärven ryhmät sekä Jormuan seurue. Tutkimus perustui pääasiassa GTK:n olemassa olevaan paikkatietoaineistoon, joka sisälsi uudet tutkimusaineistot mahdollisesti potentialisten alueiden kallioperärakenteista ja geologiasta sekä vanhemmat tutkimusaineistot, joita käsiteltiin ja uudelleen prosessoitiin kokonaisuutena edellisten kanssa uusien tutkimustulosten saamiseksi. Malmipotentialialisen mallinnuksen tuloksena saadut potentialisimmat alueet, jotka eivät olleet tutkimusajankohtana yritysten hallinnoimia, sijoittuivat Kainuun liuskevyöhykkeelle sekä Outokummun Rääkkylän seudulle. Kainuun liuskevyöhykkeellä tarkemmat kohteet olivat eroteltavissa seuraavasti: Väyrylän ryhmä, Vihajärven ryhmä ja Jormuan seurue liuskevyöhykkeen länsiosissa, sekä Uutela, Punasuo, Lahnaslampi, Tyvisuo ja Alanen liuskevyöhykkeen itäisissä osissa (Aatos et al., 2018).

4.4 Rautamuodostumat

Kainuun liuskevyöhykkeen merkittävimmät rautamuodostumat (Kuva 5) sijoittuvat jakson pohjoisosiin, Etelä-Puolangan keskiosissa sijaitsevaan Väyrylänkylän ympäristöön sekä Sotkamon kunnassa, Nuasjärven pohjoispuolella sijaitsevaan Tuomivaaran rautamuodostumaan (Lehto & Niiniskorpi, 1977). Stratigrafisesti Väyrylänkylän muodostumat sijoittuvat Väyrylän ryhmään (Laajoki, 1991). Näihin luetaan kuuluvaksi suuremmat Pääkön ja Ison-Vuorijärven muodostumat sekä pienemmät Körölän ja Seppolan rautamuodostumat, jotka kaikki kuuluvat samaan noin kymmenen kilometrin mittaisen sedimenttijaksoon (Saltikoff et al., 2006). Tuomivaaran rautamuodostuma puolestaan voidaan stratigrafisesti sijoittaa Sotkamon ryhmään kuuluvaan Tuomivaaran muodostumaan (Gehör & Havola, 1988).



Kuva 5. Kainuun rautamuodostumat. Kuvaan merkitty Tuomivaara sekä Väyrylänkylän muodostumat. Kuvaa muokattu Lehto & Niiniskorpi (1977) kuvasta.

Kainuun liuskevyöhykkeellä esiintyvät rautamuodostumat voidaan luokitella kemiallissyntyisten rautamuodostumien kvartsiraitaiseen tyyppiin, jossa niiden syntyä luonnehtivat Jatulin merellisen kehitysvaiheen olosuhteet. Rautamuodostumien kanssa kerrostui kvartsiitteja, dolomiitteja ja mustaliuskeita, jolloin niistä voidaan puhua niin sanotun Superior-tyypin rautamuodostumina (Lehto & Niiniskorpi, 1977). Parhaiten Superior-tyyppiä kuvaava rakenne on havaittavissa Pääkön rautamuodostuman kerrosjärjestyksestä (Ervamaa & Laajoki, 1977). Pääkön rautamuodostuman mukaan on nimetty myös kapeahko, pohjois-etelä suuntainen Pääkön metallogeeninen alue, joka pitää sisällään kaikki aiemmin mainitut Väyrylänkylän rautamuodostumat (Saltikoff et al., 2006). Metallogeenisella alueella tarkoitetaan, että alue on suotuisa yhden tai useamman eri mineralisaation esiintymiselle (Saltikoff et al., 2006) tarjoten potentiaalia malminetsintään sekä kaivannaistoimintaan (Nurmi & Rasilainen, 2015).

Rautamuodostumista puhuttaessa termillä tarkoitetaan kivilajistratigrafista yksikköä, joka koostuu pääosin metasedimenteistä sisältäen vähintään 15 % kemiallis-sedimenttistä-alkuperää olevaa rautaa. Pääkön ja Ison-Vuorijärven kokonaisrautapitoisuuksiksi on määritetty 26,6 ja 26,9 % (Ervamaa ja Laajoki, 1977). Kaikkiaan Väyrylänkylän rautamuodostumien suuruudeksi on arvioitu noin 20 miljoonaa tonnia rautamalmia (Saltikoff et al., 2006). Sekä Väyrylänkylän, että Tuomivaaran rautamuodostumat ovat kuitenkin jo aikanaan osoittautuneet taloudelliseen hyötykäyttöön sopimattomiksi alhaisten pitoisuuksien ja riittämättömien malmivarojen vuoksi (Lehto & Niiniskorpi, 1977).

4.5 Talvivaara-tyyppin malmipotentialiaali

Talvivaaran esiintymä on Kainuun liuskevyöhykkeen eteläosissa, Sotkamon kunnassa sijaitseva monimetalliesiintymä, josta tuotetaan nikkeliä, sinkkiä, kuparia sekä kobolttia (Kuva 6). Esiintymää on hyödyntänyt 2015 vuodesta alkaen monimetalliyhtiö Terrafame Oy (Terrafame, 2020a). Nykyisin todetut, todennäköiset ja mahdolliset mineraalivarannot ovat 1499 miljoonaa tonnia (Terrafame, 2020b) esiintymän edustaessa Länsi-Euroopan suurimpia nikkeliavarantoja (Hanski, 2015).



Kuva 6. Talvivaaran metallogeeninen alue (Eilu, 2012).

Alueen geologia malmiesiintymän ympärillä on jokseenkin monimutkainen sen käytyä läpi liuskevyöhykkeelle tyypillisen derformaation ja metamorfoitumisen, mutta pääpiirteittäin se voidaan jakaa Jatulia sekä Ylä- että Ala-Kalevaa luonnehtiviin stratigrafisiin yksiköihin. Näistä viimeisenä mainittuun sijoittuu louhittavan malmin sisältämä 2,0-1.9 miljardin vuoden ikäinen, mustaliuske painotteinen, Talvivaara-muodostuma (Kontinen & Hanski, 2015). Sen malmimineralisaatiot ovat keskittyneet kahteen erilliseen malmioon, Kuusilampeen ja Kolmisoppeen, joista jälkimmäisen louhimisen aloittamista on alustavasti suunniteltu vuosille 2026-2028, ja joiden yhteenlasketut varat takaavat toiminnan jatkumisen useiksi vuosikymmeniksi (Terrafame, 2020a). Louhittavaan mustaliuskemalmiin liittyy myös tasaisesti jakautunut uraanimineralisaatio, joka esiintyy pääasiassa uraniitin muodossa, uraanipitoisuuden ollessa keskiarvolta 17 ppm (Pohjolainen, 2015). Uraanin hyödyntämismahdollisuudet ovat olleet jo pitkään tiedossa ja vastikään vuoden alkupuolella yhtiölle myönnettiin lupa uraanimineralisaation, jolloin sen lainvoimaistuttua Suomesta tulisi Euroopan ainoa uraanimineralisaation tuottaja (Yle, 2020).

Talvivaaran esiintymän mukaan on nimetty Talvivaara-tyypin malmiesiintymät, joskin toistaiseksi niitä ei ole löydetty enempää kuin yksi ainoa (Loukola-Ruskeeniemi et al., 2011). Tämä vaikeuttaa löytämättömien Talvivaara-tyyppisten esiintymien mineraalivarantojen arviointia (Rasilainen et al., 2012). Talvivaara-tyypin esiintymän ja siihen liittyvien kivilajiseurueiden perusteella on kuitenkin kyetty rajaamaan Talvivaaran metallogeeninen alue. Tämä koostuu kokonaisuudessaan kolmesta erillisestä alueesta, jotka sijoittuvat Kainuun liuskevyöhykkeen keski- ja eteläosaan sekä Pohjois-Karjalan liuskevyöhykkeen pohjoisosaan (Eilu, 2012). Loukola-Ruskeeniemi et al. (2011) arvioivat GTK:n mustaliuskekartoituksen pohjalta suurimman todennäköisyyden uusien Talvivaara-tyyppisten malmien löytymiselle sijoittuvan Kaavin ja Paltamon väliselle alueelle 1.9-2.0 miljardia vuotta vanhoihin mustaliuskekerrostumiin, jotka esiintyvät serpentiniittien tai niiden muuttumistulosten yhteydessä. Rasilainen et al. (2012) arvioivat löytämättömiä Talvivaara-tyypin varoja vuotta myöhemmin ja saivat tulokseksi 15 potentiaalista esiintymisaluetta. Tulos on kuitenkin esiintymisalueiden potentiaalia ilmaiseva, eikä sisältänyt arvioita mahdollisista mineraalivaroista. Makkonen et al. (2017) ovat puolestaan arvioineet mahdollisuuden edelleen olevan olemassa löytämättömien Talvivaara-tyyppisten esiintymien löytymiselle, joskin nykyistä Talvivaaran esiintymää kokoluokaltaan vastaavia esiintymiä ei todennäköisesti tulla enää löytämään.

5. YHTEENVETO

Karjalan superryhmän pitkä kehitys on luonut Kainuuseen geologialtaan ja malmipotentialtaan mielenkiintoisen pintakivisyntyisten kivien kokonaisuuden. Kehitysvaiheita kuvaavat kronostratigrafisen merkityksen omaavat kerrossarjat Sumi-Sariola, Kainuu-Jatuli ja Kaleva ovat monipuolisesti edustettuina Kainuun liuskevyöhykkeellä, jossa Ala-Kalevan mustaliuskemalmiit ovat toistaiseksi osoittautuneet taloudellisesta näkökulmasta tärkeimmiksi. Tästä huolimatta malmipotentialiaa on arvioitu Kainuun liuskevyöhykkeen jokaiseen osaan; Itäisiin- ja läntisiin muodostumiin sekä liuskevyöhykkeen keskiosiin.

Talvivaaran monimetalliesiintymän myötä suuri mielenkiinto on kohdistunut vastaavanlaisten Talvivaara-tyyppisten esiintymien löytymiselle Kainuussa. Samoillemalmipotentialisille alueille keskittyy myös Outokumpu-assosiaatioon liittyvä malmipotentialiaali. Yhteistä näille on se, että tutkimusten tulokset ovat koskeneet vain malmipotentialisten alueiden laajuutta, jolloin mahdolliset löytämättömät varannot jättävät edelleen tutkittavaa. Vaikka Talvivaara-tyyppisiä esiintymiä on tutkittu laajasti, mahdollisuus löytämättömien varojen esiintymiselle on kuitenkin olemassa, vaikkeitoista yhtä suurta esiintymää enää löytyisikään. Myös akkumineraalien kannalta tärkeisiin kobolttiesiintymiin liittyvä tutkimustieto Kainuun alueella on vähäistä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että kobolttia ei ole huomioitu yhtä laajasti aiemmissa malminetsintätutkimuksissa perinteisten malmimetallien rinnalla.

Kaikkiaan näyttäisi siltä, että Kainuun liuskevyöhykkeen malmipotentialiaa koskeva tieto päivittyy koko ajan. Perinteiset malmipotentialiset alueet saavat entistä tarkempaa huomiota, samalla kun tutkimusta kohdennetaan myös ennestään vähemmän tutkituille alueille. Tällä hetkellä liuskevyöhyke näyttäytyy hyvinkin potentialisena, joskin tulevaisuudessa tarvitaan lisää tutkimuksia ja malminetsintää näyttämään, liittykö potentialiaaliin uusia hyödynnettävissä olevia malmivarantoja.

LÄHDELUETTELO

- Aatos, S., Konnunaho, J. & Makkonen, H. 2018. Outokumpu-assosiaation Ni-(Cu-Co) - malmipotentialin arvioinnin väliraportti. Geologian tutkimuskeskus, 18 s.
- Eilu, P. (ed.) 2012. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 s.
- Ervamaa, P. & Laajoki, K. 1977. Puolangan Väyrylänkylän prekambriksen rautamuodostumien geologiasta. Abstract: On the geology of the Precambrian iron formations in Väyrylänkylä, Puolanka. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 27, 66 s.
- Gehör, S. & Havola, M. 1988. The depositional environment of the early Proterozoic Tuomivaara iron-formation and associated metasediments, eastern Finland. In: Laajoki, K. & Paakkola, J. (eds.), Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geol. Surv. Finland, Spec. Paper 5, 109-133.
- GTK, 2020. Usein kysyttyä, Geologian tutkimuskeskuksen akkuminaaliprojekti [verkkodokumentti]. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa <http://projects.gtk.fi/akku/ukk/> [viitattu 15.1.2021].
- Hanski, E., 2001. History of Stratigraphic Research in Northern Finland. In: Vaasjoki, M. (ed.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. Geological Survey of Finland, Special Paper 33, 15-43.
- Hanski, E., 2015. Synthesis of the geological evolution and metallogeny of Finland. In: Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien, H. (eds.), Mineral deposits of Finland. Elsevier, Amsterdam, 39-71.
- Kainuun liitto, 2019. Kainuun kaivannaisstrategia 2019–2025, B:16 [verkkodokumentti]. Kajaani: Kainuun liitto. Saatavissa <https://www.epressi.com/media/userfiles/133875/1560158301/kainuun-kaivannaisstrategia-2019-2025.pdf> [viitattu 5.1.2021] 44 s.
- Kontinen, A., Huhma, H., Lahaye, Y. & O'Brien, H. 2014. The problem with the age of the Central Puolanka Group keeps fighting us. In: Lauri, L. S., Heilimo, E., Leväniemi, H., Tuusjärvi, M., Lahtinen, R. & Hölttä, P. (eds.), 2014. Current Research: 2nd GTK Mineral Potential Workshop, Kuopio, Finland, 6–7 May 2014. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 207, 68-71.
- Kontinen, A. & Hanski, E. 2015. The Talvivaara black shale-hosted Ni-Zn-Cu-Co deposit in eastern Finland. In: Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien, H. (eds.), Mineral deposits of Finland. Elsevier, Amsterdam, 557-612.

- Laajoki, K., 1986. The Central Puolanka Group – a Precambrian regressive metasedimentary sequence in northern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland* 58 (1), 179-193.
- Laajoki, K., 1991. Stratigraphy of the northern end of the early Proterozoic (Karelian) Kainuu Schist Belt and associated gneiss complexes, Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 358, 105 s.
- Laajoki, K., 1998. Karjalaiset liuskealueet. Teoksessa: Lehtinen M., Nurmi, P. & Rämö T. (toim.), *Suomen kallioperä: 3000 vuosisimiljoonaa*. Suomen Geologinen Seura ry, Helsinki, 165-197.
- Laajoki, K., 2005. Karelian supracrustal rocks. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, O.T. (eds.), *Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Elsevier B.V., Amsterdam, 279-342.
- Lahtinen, R., Korja, A. & Nironen, M., 2005. Paleoproterozoic tectonic evolution. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, O.T. (eds.), *Precambrian Geology of Finland- Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Elsevier B.V., Amsterdam, 481-532.
- Latitude 66 Cobalt, 2019. Operaatio akkumalmi – Latitude 66 Cobaltin tavoitteena yhtenäisten geologisten alueiden tutkiminen Kainuussa, Koillismaalla ja Lapissa 5700 neliökilometrin alueella [verkkodokumentti]. Latitude 66 Cobalt Oy. Saatavissa <https://lat66.com/ajankohtaista/ operaatio-akkumalmi-latitude-66-cobaltin-tavoitteena-yhtenaisten-geologisten-alueiden-tutkiminen-kainuussa-koillismaalla-ja-lapissa-5700-neliokilometrin-alueella/> [viitattu 10.1.2021].
- Latitude 66 Cobalt, 2020. GTK:n tutkimusraportti nostaa esiin vielä löytämättömien kobolttiesiintymien potentiaalin Kainuussa, Koillismaalla ja Lapissa [verkkodokumentti]. Latitude 66 Cobalt Oy. Saatavissa <https://lat66.com/ajankohtaista/gtkn-tutkimusraportti-nostaa-esiin-viela-loytamattomien-kobolttiesiintymien-potentiaalin-kainuussa-koillismaalla-ja-lapissa/> [viitattu 10.1.2021].
- Latitude 66 Cobalt, 2021. Latitude 66 Cobalt jätti malminetsintälupahakemukset Puolangalle ja Pudasjärvelle [verkkodokumentti]. Latitude 66 Cobalt Oy. Saatavissa <https://lat66.com/ ajankohtaista/latitude-66-cobalt-jatti-malminetsintalupahakemukset-puolangalle-ja-pudasjarvelle/> [viitattu 23.1.2021].
- Lehto, T. & Niiniskorpi, V. 1977. Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumat. Summary: The iron-formations of northern and eastern Finland. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation* 22. 49 s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Hyvönen, E., Airo, M-L., Arkimaa, H., Eskelinen, J., Lerssi, J., Vanne, J. & Vuoriainen, S. 2011. Onko Suomessa uusia Talvivaara-tyyppisiä malmeja? - Geofysikaalisiin ja geokemiallisiin tutkimuksiin perustuva Suomen mustaliuskekartta. *Geologi-lehti*, 63 (3), 68-79.

- Luukas, J., Kousa, J., Nironen, M & Vuollo, J. 2017. Major stratigraphic units in the bedrock of Finland, and an approach to tectonostratigraphic division. Geological Survey of Finland, Special Paper 60, 9-40.
- Makkonen, H., Halkoaho, T., Konnunaho, J., Rasilainen, K. Kontinen, A. & Eilu, P. 2017. Ni-(Cu-PGE) deposits in Finland – Geology and exploration potential. *Ore Geology Reviews* 90, 667-696.
- Nurmi, P.A. & Rasilainen K. 2015. Finland's mineral resources – opportunities and challenges for future mining. In: Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien, H. (eds.), *Mineral deposits of Finland*. Elsevier, Amsterdam, 753-780.
- Ojakangas, R., Marmo, J. & Heiskanen, K. 2001. Basic evolution of the Paleoproterozoic Karelian Supergroup of the Fennoscandian (Baltic) Shield. *Sedimentary Geology* 141-142, 255-285.
- Peltonen, P. & Kontinen A. 2004. The Jormua ophiolite: a mafic-ultramafic complex from an ancient ocean-continent transition zone. In: Kusky, T.M. (ed.), *Precambrian ophiolites and related rocks*. *Developments in Precambrian Geology* vol. 13., 35-71.
- Peltonen, P., 2005. Ophiolites. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, O.T. (eds.), *Precambrian Geology of Finland - Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Elsevier B.V., Amsterdam, 237-278.
- Pohjolainen, E., 2015. Uranium deposits of Finland. In: Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien, H. (eds.), *Mineral deposits of Finland*. Elsevier, Amsterdam, 659-683.
- Rasilainen, K., Eilu, P., Äikäs, O., Halkoaho, T., Heino, T., Iljina, M., Juopperi, H., Kontinen, A., Kärkkäinen, N., Makkonen, H., Manninen, T., Pietikäinen, K., Räsänen, J., Tiainen, M., Tontti, M. & Törmänen, T. 2012. Quantitative mineral resource assessment of nickel, copper and cobalt in undiscovered Ni-Cu deposits in Finland. Geological tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 194 - Geological Survey of Finland, Report of Investigation 194, 514 s.
- Rasilainen, K., Eilu, P., Huovinen, I., Konnunaho, J., Niiranen, T., Ojala, J. & Törmänen, T. 2020. Quantitative assessment of undiscovered resources in Kuusamo-type Co-Au deposits in Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 410, 32 s.
- Saltikoff, B., Puustinen, K. & Tontti, M. 2006. Metallogenic zones and metallic mineral deposits in Finland: explanation to the Metallogenic map of Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 35. 66 s.
- Strand, K., 1988. Alluvial sedimentation and tectonic setting of the early Proterozoic Kurkikylä and Kainuu Groups in northern Finland. In: Laajoki, K. & Paakkola, J. (eds.), *Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland*. Geological Survey of Finland, Special Paper 5, 75-90.

- Strand, K., Köykkä, J. & Kohonen, J. (eds.), 2010. Guidelines and Procedures for Naming Precambrian Geological Units in Finland. 2010 Edition. Stratigraphic Commission of Finland: Precambrian Sub-Commission. Geological Survey of Finland, Guide 55, 41 s.
- Strand, K., 2012. Sequence stratigraphy of the Karelian formations (2.4-2.0 Ga) of the Fennoscandian Shield - Significance of major unconformities. *Marine and Petroleum Geology* 33, 117-126.
- Strand, K. & Köykkä, J. 2012. Early Paleoproterozoic rift volcanism in the eastern Fennoscandian Shield related to the breakup of the Kenorland supercontinent. *Precambrian Research* 214-215, 95-105.
- Terrafame, 2020a. Kolmisopen esiintymän hyödyntäminen ja kaivospiirin laajennus: ympäristövaikutusten arviointiohjelma [verkkodokumentti]. Terrafame Oy. Saatavissa https://www.terrafame.fi/media/mediapankki/kolmisoppi-yva/yvaohjelma/terrafame_kolmisopen_louhinta_yva-ohjelma_final.pdf [viitattu 7.1.2021], 125 s.
- Terrafame, 2020b. Terrafamella on hyvät valmiudet tuottaa planeetan vihreimpiä akkumateriaaleja [verkkodokumentti]. Terrafame Oy. Saatavissa [https://www.terrafame.fi/ajankohtaista/uutiset/terrafamella-on-hyvät-valmiudet-tuottaa-planeetan -vihreimpia-akkumateriaaleja.html](https://www.terrafame.fi/ajankohtaista/uutiset/terrafamella-on-hyvät-valmiudet-tuottaa-planeetan-vihreimpia-akkumateriaaleja.html) [viitattu 5.1.2021].
- Tiainen, M., Hietava, J., Hulkki, H., Leväniemi, H. & Mikkola, P. 2019. Kainuun liuskejakson pohjoisosan malmipotentialin kartoitus. *Geologian tutkimuskeskus*, 83 s.
- Yle, 2020. Terrafame ja Talvivaara ovat jo vuosia haaveilleet Suomessa tuotetusta uraanista – kokosimme vaiheet vuosien varrelta, Terrafame sai tänään valtioneuvostolta luvan käynnistää uraanin talteenoton ja jalostuksen [verkkodokumentti]. Yleisradio Oy. Saatavissa <https://yle.fi/uutiset/3-11193671> [viitattu 5.1.2021].